



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 199 51 525 A 1**

(51) Int. Cl.⁷:
H 01 Q 3/30

DE 199 51 525 A 1

BEST AVAILABLE COPY

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Schlee, Johannes, Dr.-Ing., 89134 Blaustein, DE

(56) Entgegenhaltungen:

DE 39 34 155 C2
EP 9 38 204 A1
EP 8 81 704 A2
EP 7 52 736 A1

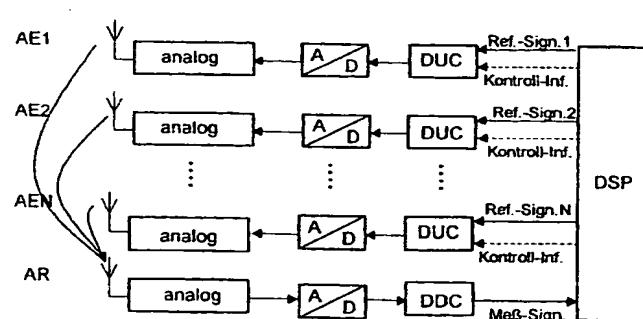
STEINER, B. et al.: Low Cost Channel Estimation
in the Uplink Receiver CDMA Mobile Radio
Systems.
In: Frequenz 47 (1993) 11-12, S. 292-298;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zum Kalibrieren einer elektronisch phasengesteuerten Gruppenantenne in
Funk-Kommunikationssystemen

(57) Erfindungsgemäß werden zum Kalibrieren einer elektronisch phasengesteuerten Gruppenantenne in Funk-Kommunikationssystemen unter Verwendung eines für alle Referenzsignale gemeinsamen Referenzpunktes im Downlink von den einzelnen Antennenelementen der Gruppenantenne voneinander unterscheidbare Referenzsignale zeitgleich ausgestrahlt und nach dem Empfang an den gemeinsamen Referenzpunkt geeignet separiert.



DE 199 51 525 A 1

DE 199 51 525 A 1

1

2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren einer elektronisch phasengesteuerten Gruppenantenne unter Verwendung eines für alle Referenzsignale gemeinsamen Referenzpunktes in Funk-Kommunikationssystemen und eine Anordnung hierfür.

Durch den Einsatz elektronisch phasengesteuerter Gruppenantennen, sogenannter intelligente Antennen, in Funk-Kommunikationssystemen, wie beispielsweise digitalen Mobilfunksystemen, kann eine trotz Mehrwegausbreitung vorhandene Richtungsselektivität eines Mobilfunkkanals für die Funk-Kommunikation vorteilhaft ausgenutzt werden.

Intelligente Antennen bilden durch entsprechende phasenrichtige Ansteuerung der einzelnen Antennenelemente des Antennenarrays eine Richtcharakteristik aus. Die Strahlenformung kann deshalb benutzt werden, um eine Nachricht von einer Basisstation zu einer Teilnehmerstation gezielt in deren Richtung zu übertragen. Hierdurch kann einerseits die Empfindlichkeit gegenüber Interferenzen in der aktuellen Funkzelle der Basisstation reduziert werden und andererseits können Gleichkanalinterferenzen in benachbarten Funkzellen reduziert werden. Zudem wächst die Reichweite einer Basisstation, die eine bestimmte Mobilstation mit Funkressourcen versorgt, bei gleicher Sendeleistung wesentlich. Darüber hinaus können infolge der räumlichen Trennung physikalische Kanäle innerhalb einer von einer Basisstation versorgten Funkzelle wieder verwendet werden und die sogenannten Antennenkeulen des Richtdiagramms bei Bewegung von Teilnehmerstationen adaptiv nachgeführt werden.

Um eine gewünschte Strahlenformung zu erreichen, wird das originale Übertragungssignal über mehrere Antennenelemente, meist mit verschiedenen, aber definierten Phasenwinkeln, gesendet. Der entsprechende Phasenwinkel wird für jedes Antennenelement durch eine digitale Signalverarbeitung (DSP = Digital Signal Processing) ermittelt.

Im allgemeinen treten bei der Einstellung des Phasenwinkels im analogen Bereich zwischen Digital-Analog-Konvertern und Antennenelementen unvorhersehbare Phasenfehler und Zeitverzögerungen auf. Hierdurch werden die Übertragungssignale nicht mit den gewünschten Phasenwinkeln gesendet und die Strahlenformung wird verfälscht oder gar unmöglich. Um dieser ungünstigen Eigenschaft des analogen Bereiches der Strahlenformung entgegenzuwirken, ist eine sogenannte Antennen-Kalibrierung notwendig. Die Antennen-Kalibrierung beseitigt den Einfluß der gesamten analogen Signalkette auf die oben beschriebenen Fehler.

Um Strahlenformung einzusetzen, muß zunächst die Richtung von der Basisstation zur Mobilstation festgestellt werden. Die Richtung wird durch die Auswertung der verschiedenen Phasenwinkel des Empfangssignals an jedem Antennenelement des Antennenarrays festgestellt. Deshalb ist eine Antennen-Kalibrierung in der Basisstation nicht nur für die Abwärtsstrecke zur Teilnehmerstation (Downlink), sondern auch für die Aufwärtsstrecke von der Teilnehmerstation zur Basisstation (Uplink) notwendig.

In einem TD-SCDMA System (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access System) unter Verwendung von intelligenten Antennen wird für die Antennen-Kalibrierung eine zusätzliche Antenne benutzt, eine sogenannte Referenzantenne. Über die Referenzantenne wird für den Fall einer Uplink-Kalibrierung ein Referenzsignal zu allen Antennenelementen des Antennenarrays gesendet. An den einzelnen Antennenelementen wird aufgrund der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen je nach Abstand zur Referenzantenne eine be-

stimmte Verzögerungszeit und eine bestimmte Phasenlage erwartet. Die Differenz zwischen dem erwarteten Sollwert und dem tatsächlich gemessenen Istwert wird ermittelt und als Korrekturfaktor gespeichert. Der Korrekturfaktor wird sodann, in den normalen Signalverarbeitungsprozeß einbezogen, wodurch die Antenne kalibriert wird.

Für die Downlink-Kalibrierung empfängt die Referenzantenne zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Referenzsignal von einem Antennenelement des Antennenarrays und der Korrekturfaktor wird bestimmt. Um der Verzerrung des Meßergebnisses aufgrund anderer Antennenelemente des Antennenarrays entgegenzuwirken, dürfen diese zu diesem Zeitpunkt kein Signal übertragen. Anschließend empfängt die Referenzantenne zu einem zweiten Zeitpunkt ein Referenzsignal von einem zweiten Antennenelement des Antennenarrays und der Korrekturfaktor für dieses zweite Antennenelement wird bestimmt usw. Für die Kalibrierung von n Antennenelementen des Antennenarrays müssen demzufolge Zeitschlüsse bei einer Unterstützung eines TDMA-Teilnehmerseparierungsverfahrens (Time Division Multiple Access) aufgewendet werden.

Der Fehler in der Verzögerungszeit beträgt häufig nur einen Bruchteil eines Chips (Chip = CDMA-Code-Element). Um solch eine geringe Verzögerungszeit bei der Signalverarbeitung zu berücksichtigen, ist eine Überabtastung (Over-sampling) des Empfangs- und Übertragungssignals notwendig. Durch eine Überabtastung wird die zu übertragende Datenrate allerdings deutlich größer.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Zeit für die Kalibrierung von intelligenten Antennen im Downlink deutlich zu verkürzen.

Eine weitere Aufgabe besteht darin, eine Korrektur des analogen Fehlers ohne die Notwendigkeit der Berechnung eines Korrekturfaktors für jedes Antennenelement und ohne Überabtastung und der damit einhergehenden höheren Datenraten vorzunehmen.

Eine weitere Aufgabe besteht darin, die Übertragungskapazität physikalischen Kanäle durch eine Antennen-Kalibrierung in geringen Maßen zu belasten.

Erfindungsgemäß werden alle Antennenelemente einer intelligenten Antenne im Downlink in nur einem Schritt kalibriert. Hierzu werden von den einzelnen Antennenelementen des Antennenarrays zeitgleich voneinander unterscheidbare Referenzsignale gesendet und nach dem Empfang an einem für alle Antennensignale gemeinsamen Referenzpunkt wieder separiert.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht eine Trennung der Referenzsignale unter Anwendung eines CDMA-Verfahrens (CDMA = Code Division Multiple Access) vor, das auf einer Separierung von Signalen durch individuelle Spreizcodes beruht.

In einer weiterer Ausgestaltung werden zur Trennung der Referenzsignale konventionelle Spreizcodetechniken, wie Korrelation, verwendet, bei denen der gemeinsame Referenzpunkt auf den jeweiligen Referenzcodekanal der Antennenelemente synchronisiert und die Referenzsignale wieder auf ihre Originalbandbreite reduziert werden.

In diesem Fall werden die Referenzsignale nach einer weiteren Ausgestaltung orthogonal kodiert, damit die Interferenzen trotz zeitgleicher Übertragung minimal bleiben.

Der Kalibrierungsfaktor kann aus dem Ergebnis der Korrelation in einem digitalen Signalprozessor gewonnen werden.

Eine andere vorteilhafte Ausprägung der Erfindung besteht darin, eine optimierte Referenzsignalmenge zu benutzen, die eine unvoreingenommene Schätzung des Kalibrierungsfaktors erlaubt.

Die Generierung solch einer optimierten Referenzsigna-

menge und des Schätzwertes können in vorteilhafter Weise nach Methoden erfolgen, die in: Bernd Steiner, Paul Walter Baier: "Low Cost channel Estimation in the uplink receiver of CDMA mobile radio systems", Frequenz 47 (1993), S. 292–298, beschrieben sind.

Nach einer weiteren Ausprägung kann die Korrektur von Verzögerungszeit, Phasenfehler und/oder Amplitude der Übertragungssignale unmittelbar innerhalb einer digitalen UP-Conversion/Down-Conversion vorgenommen werden, wodurch kein Korrekturfaktor einbezogen werden muß und keine Überabtastung der Empfangs- und Übertragungssignals notwendig wird, um Verzögerungsfehler zu beseitigen.

Hierzu erfolgt ein Abstimmen (Tunen) des numerisch gesteuerten Oszillators (NCO) des digitalen UP-Konverters (DUC) und des digitalen Down-Konverters (DDC).

In Weiterentwicklung der Erfindung wird in einem TDD-System die Kalibrierung in der übertragungsgenauen Verzögerungszeit zwischen den Uplink- und Downlink-Zeitschlitten durchgeführt.

Die Downlink-Kalibrierung kann in weiterer Ausgestaltung zu Beginn der Verzögerungszeit und die Uplink Kalibrierung am Ende der Verzögerungszeit stattfinden.

In weiterer Ausgestaltung wird als gemeinsamer Referenzpunkt für die Referenzsignale von und zu den Antennenelementen eine Referenzantenne benutzt.

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigt:

Fig. 1 schematisch ein Funk-Kommunikationssystem unter Verwendung von intelligenten Antennen,

Fig. 2 schematisch den Signalfluß bei einer Uplink-Synchronisation einer zu kalibrierenden intelligenten Antenne,

Fig. 3 schematisch den Signalfluß bei einer Downlink-Synchronisation einer zu kalibrierenden intelligenten Antenne, und

Fig. 4 schematisch die Signalisierung für eine Antennenkalibrierung in einem Verzögerungsintervall zwischen Uplink und Downlink im TDD-Modus.

Fig. 1 zeigt eine Basisstation BS, die im Bereich ihrer versorgten Funkzelle Z mit beispielhaft drei Mobilstationen MS gleichzeitig Verbindung aufgenommen hat. Für eine ungestörte Verbindung von und zu den Mobilstationen MS ist eine Kanaltrennung nach einem Zeitduplex-Verfahren TDD (Time Division Duplex) vorgesehen. Für die Trennung der Verbindungen zwischen den einzelnen Mobilstationen MS kann beispielhaft das hybride Vielfachzugriffsverfahren TD-SCDMA (Time Division-Synchron Code Division Multiple Access) eingesetzt werden, eine Ausprägung von TD-CDMA (Time Division-Code Division Multiple Access). Bei TD-CDMA handelt es sich um eine Kombination der Vielfachzugriffskomponenten TDMA (Time Division Multiple Access) und CDMA (Code Division Multiple Access) und wird durch die Freiheitsgrade Frequenz, Zeitschlitz und Code charakterisiert. TD-SCDMA unterscheidet sich gegenüber TD-CDMA durch das Verwenden einer hochgenauen Synchronisation der Empfangssignale im Uplink. Dadurch wird die Orthogonalität der Empfangssignale weitestgehend beibehalten, und hierdurch wiederum werden die Detektionseigenschaften verbessert.

Voraussetzung für ein TD-SCDMA-System oder ein vergleichbares Funk-Kommunikationssystem mit intelligenten Antennen sind Antennen, mit denen eine Richtungsselektivität der von einer Basisstation BS ausgestrahlten Übertragungssignale erreichen läßt. Mit intelligenten Antennen lassen sich elektronisch schwenkbare, stark fokussierende Ausbreitungsdiagramme erzeugen. Damit reduzieren intelligente Antennen die Einfallswinkel für umgebungsbedingte Umwege der Übertragungssignale an den Mobilstationen,

wodurch die Interferenz verringert wird. Von derselben Basisstation BS können somit verschiedene Antennenkeulen, die in unterschiedliche Richtungen geschwenkt sind, gleichzeitig denselben Frequenzkanal innerhalb einer Zelle Z nutzen. Außerdem steigt bei gleicher Sendeleistung die Reichweite einer Basisstation BS.

In **Fig. 1** detektiert die intelligente Antenne der Basisstation BS die Richtungen, aus denen die Mobilstationen MS senden und formt in deren Richtung entsprechende Antennenkeulen aus.

In **Fig. 2** ist schematisch der Signalfluß bei einer Uplink-Kalibrierung einer intelligenten Gruppenantenne dargestellt, bestehend aus mehreren Antennenelementen AE1 bis AEN und einer Referenzantenne AR für die Kalibrierung. Die Pfeile verdeutlichen die unterschiedliche Laufzeit eines Referenzsignals von einer Referenzantenne AR zu den Antennenelementen AE1 bis AEN. Die von jedem Antennenelement AE1 bis AEN aufgenommenen und gegebenenfalls verstärkten Referenzsignale werden parallel zueinander in Analog-Digital-Konvertern A/D digitalisiert. Die digitalisierten Werte werden anschließend parallel in einem digitalen Down-Konverter DDC behandelt. Aus den auf diese Weise gewonnenen Meßsignalen können beispielsweise in einem digitalen Signalprozessor DSP Korrekturfaktoren ermittelt und die Korrekturwerte als Kontrollinformationen an die digitalen Down-Konverter DDC der einzelnen Antennenelemente AE1 bis AEN zurückgeführt werden. Außerdem werden die Referenzsignale aus dem Signalprozessor DSP über einen digitalen Up-Konverter DUC und einen Digital-Analog-Konverter D/A an die Referenzantenne AR geschickt, die diese zwecks Kalibrierung an die Antennenelemente AE1 bis AEN sendet usw.

In **Fig. 3** ist schematisch der Signalfluß bei einer Downlink-Kalibrierung einer intelligenten Gruppenantenne dargestellt. Die Antennenelemente AE1 bis AEN senden gleichzeitig je ein Referenzsignal an die Referenzantenne AR, die diese mit unterschiedlicher Referenzsignal-Laufzeit empfängt. Die Referenzantenne AR verstärkt gegebenenfalls die Referenzsignale und setzt sie in einem Analog-Digital-Konverter A/D wieder in digitale Signale um. Anschließend werden die digitalisierten Signale in einem digitalen Down-Konverter DDC behandelt und die auf diese Weise gewonnenen Meßsignale dem digitalen Signalprozessor DSP zugeführt. Im Signalprozessor DSP werden aus den Meßergebnissen beispielsweise Korrekturfaktoren ermittelt und als Kontrollinformationen an die digitalen UP-Konverter DUC der Antennenelemente AE1 bis AEN gegeben. Außerdem werden den digitalen UP-Konvertern DUC Referenzsignale 1 bis N zwecks Ausstrahlung durch die Antennenelemente AE1 bis AEN zugeführt.

Im folgenden wird ein Rechenbeispiel für ein TD-SCDMA System unter Verwendung einer intelligenten Antenne mit 8 Antennenelementen, einer Referenzantenne und einer Länge der CDMA-Code-Elemente (Chip) von 0,75 µs ausgewählt.

Die Bestimmung des Kalibrierungsfaktors erfolgt analog zu aus der Mobilfunktechnik bekannten Kanalschätzverfahren. Es werden die Zeitverzögerung und die Phasenlage der empfangenen Referenzsignale bestimmt. Da der Verzögerungsfehler im Vergleich zum Verzögerungs-Sollwert sehr gering ist, sind für jedes Antennenelement beispielsweise drei Messungen von Kanalimpuls-Antworten in der zur Verfügung stehenden Zeit ausreichend. Darnit beträgt die Signallänge für die Kalibrierung aller Antennenelemente einer intelligenten Antenne im Downlink: $(8 + 1) \text{ Antennenelemente} \cdot 3 \text{ Messungen} \cdot 0.75 \mu\text{s Chiplänge} = 20.25 \mu\text{s}$.

Die Antennenkalibrierung, das heißt die Korrektur des Einflusses des analogen Fehlers auf der gesamten Signal-

kette auf die Richtcharakteristik der intelligenten Gruppenantenne, wird direkt auf digitalem Wege durchgeführt. Es ist kein Überabtasten der Empfangs- und Übertragungssignals notwendig, um Verzögerungsfehler zu beseitigen.

In modernen Basisstationen wird digitale UP-Conversion und Down-Conversion genutzt, um Probleme durch IQ-Phasenfehler und IQ-Amplituden-Offsets zu kompensieren. Die Korrektur von Verzögerungszeit und Phase der Übertragungssignale kann direkt durch Tunen des numerisch gesteuerten Oszillators NCO (Numerical Controled Oscillators) des digitalen UP-Konverters (DUC) und des digitalen Down-Konverters (DDC) erreicht werden, ohne daß ein Korrekturfaktor bei der digitalen Signalverarbeitung im DSP einbezogen werden muß.

Digitale Up-Konverter DUC und digitale Down-Konverter DDC ermöglichen auch das Tunen der Amplitude der Übertragungssignale, da eine fehlerhafte Amplitude die Strahlungsformung ebenfalls beeinflußt.

Aufgrund der hohen Datenraten zwischen der Kalibrierungsinstanz und DUC/DDC ist der Nachteil einer zusätzlichen Kontrollinformations-Signalisierung zu DUC und DDC vernachlässigbar klein.

Aus Fig. 4 ist ersichtlich, daß in einem TDD-System, wie beispielsweise TD-SCDMA, zwischen Uplink und Downlink eine Verzögerungszeit einer bestimmten Länge zur Begegnung von Laufzeitunterschieden der zu übertragenden Signale und Daten vorgesehen ist. Vorzugsweise finden die Kalibrierungsmessungen in dieser Verzögerungszeit statt, da zu diesem Zeitpunkt keine weiteren Signale die Messungen beeinflussen können. Die Downlink-Kalibrierung wird vorzugsweise zu Beginn der Verzögerungszeit und die Uplink Kalibrierung am Ende dieser durchgeführt. In gleicher Weise kann beispielsweise auch ein für Kommunikationsverbindungen vorgesehener Zeitschlitz TS für die beschriebene Kalibrierungsprozedur reserviert werden.

Die Häufigkeit der Antennen-Kalibrierung ist frei wählbar und läßt sich dynamisch den Übertragungserfordernissen anpassen. Beispielsweise kann eine Kalibrierung im Downlink und Uplink in jeder Verzögerungszeit zwischen Downlink- und Uplink-TDMA-Rahmen erfolgen oder aber eine Kalibrierung wird mit einem hier von vielfachen Zeitabstand vorgenommen. Auch kann die Häufigkeit einer Downlink-Kalibrierung von der Häufigkeit einer Uplink-Kalibrierung abweichen, beispielweise wenn scitens der Basisstation festgestellt wird, daß sich eine Mobilstation nur unwesentlich oder gar nicht während einer Kommunikationsverbindung, beispielsweise zur Sprachübertragung, zum Datentransport oder für eine Multimedia-Übertragung bewegt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren einer elektronisch phasengesteuerten Gruppenantenne in Funk-Kommunikationssystemen unter Verwendung eines für alle Referenzsignale gemeinsamen Referenzpunktes (AR), dadurch gekennzeichnet, daß bei der Antennen-Kalibrierung in Abwärtsrichtung (DL) von einzelnen Antennenelementen (AE1 bis AEN) der Gruppenantenne voneinander unterscheidbare Referenzsignale zeitgleich ausgestrahlt und nach einem Empfang an dem gemeinsamen Referenzpunkt (AR) geeignet separiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kodierung und Dekodierung der Referenzsignale nach einem CDMA-Verfahren vorgenommen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeich-

net, daß ein Korrelationsverfahren zur Synchronisation des Referenzpunktes (AR) auf den Referenzcodekanal der Antennenelemente (AE1 bis AEN) angewendet wird.

4. Verfahren nach einem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzsignale orthogonal kodiert sind.
5. Verfahren nach einem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß eine Korrektur eines analogen Fehlers in Zeitverzögerung, Phase und/oder Amplitude digital erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektur innerhalb der digitalen Up-Conversion bzw. digitalen Down-Conversion erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kalibrierungsfaktor aus dem Ergebnis einer Korrelation in einem digitalen Signalprozessor (DSP) gewonnen wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine optimierte Signalmenge für eine unvoreingenommene Schätzung des Kalibrierungsfaktors verwendet wird.
9. Verfahren nach einem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß im Zeitduplexbetrieb (TDD) eine Kalibrierung innerhalb einer Verzögerungszeit zwischen der Aufwärtsrichtung (UL) und der Abwärtsrichtung (DL) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzsignale für die Kalibrierung in Abwärtsrichtung (DL) zu Beginn der Verzögerungszeit gesendet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, die Referenzsignale für die Kalibrierung in Aufwärtsrichtung (UL) am Ende der Verzögerungszeit gesendet werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzsignale für Kalibrierung in Aufwärts- (UL) und/oder in Abwärtsrichtung (DL) in jeweils einem Zeitschlitz (TS) gesendet werden.
13. Verfahren nach einem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß als gemeinsamer Referenzpunkt für die Referenzsignale eine Referenzantenne dient.
14. Elektronisch phasengesteuerte Gruppenantenne eines Funk-Kommunikationssystems, dadurch gekennzeichnet, daß für eine Antennen-Kalibrierung in Abwärtsrichtung (DL) von einzelnen Antennenelementen (AE1 bis AEN) der Gruppenantenne voneinander unterscheidbare Referenzsignale zeitgleich ausgestrahlt und nach dem Empfang an einem gemeinsamen Referenzpunkt (AR) geeignet separiert werden.
15. Elektronisch phasengesteuerte Gruppenantenne nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Zeitduplexbetrieb (TDD) eine Kalibrierung innerhalb einer Verzögerungszeit zwischen der Aufwärtsrichtung (UL) und der Abwärtsrichtung (DL) erfolgt.
16. Elektronisch phasengesteuerte Gruppenantenne nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine Referenzantenne den gemeinsamen Referenzpunkt (AR) für die Kalibrierungssignale bildet.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

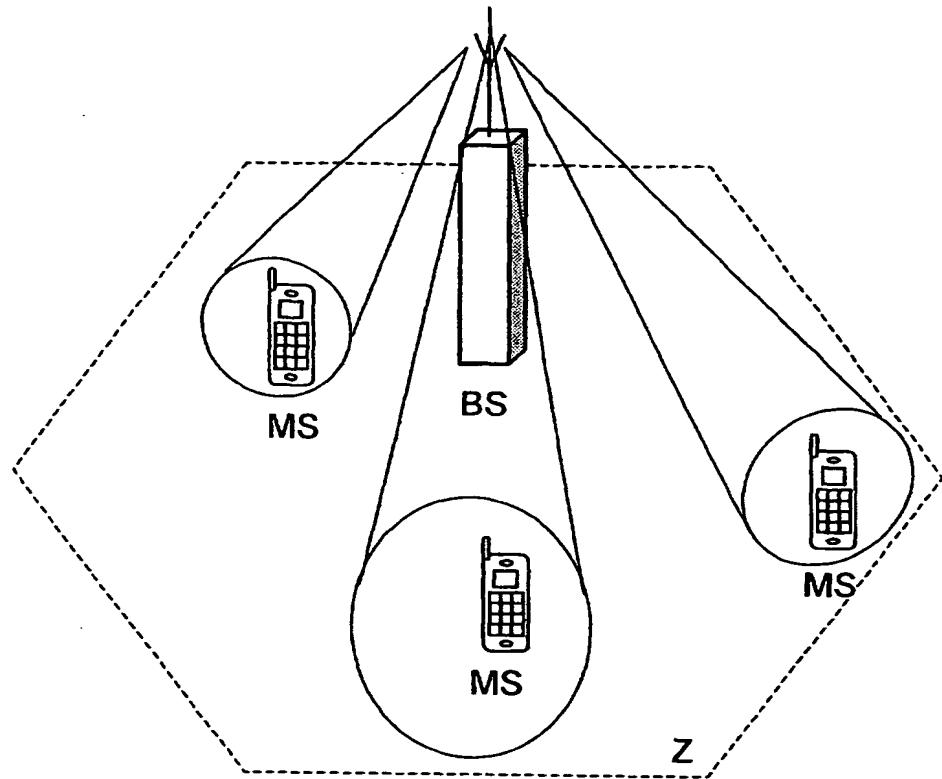


Fig. 1 (Stand der Technik)

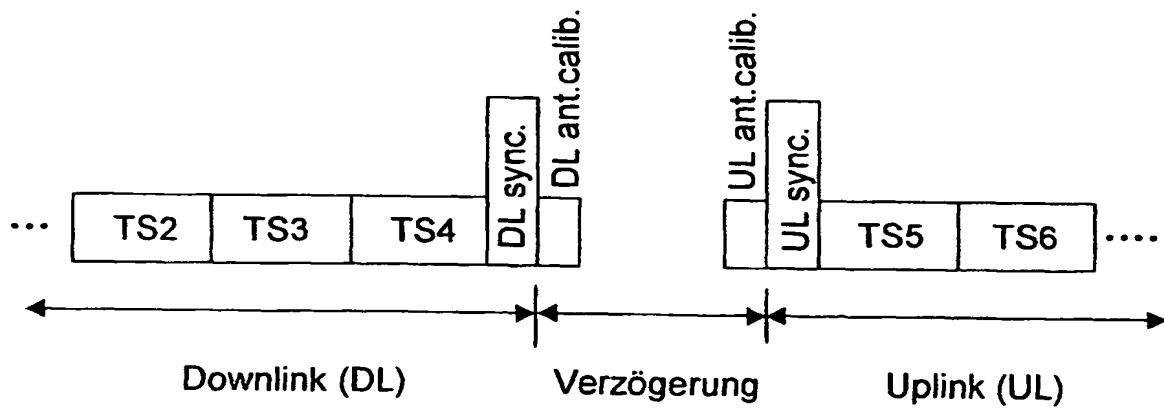


Fig. 4

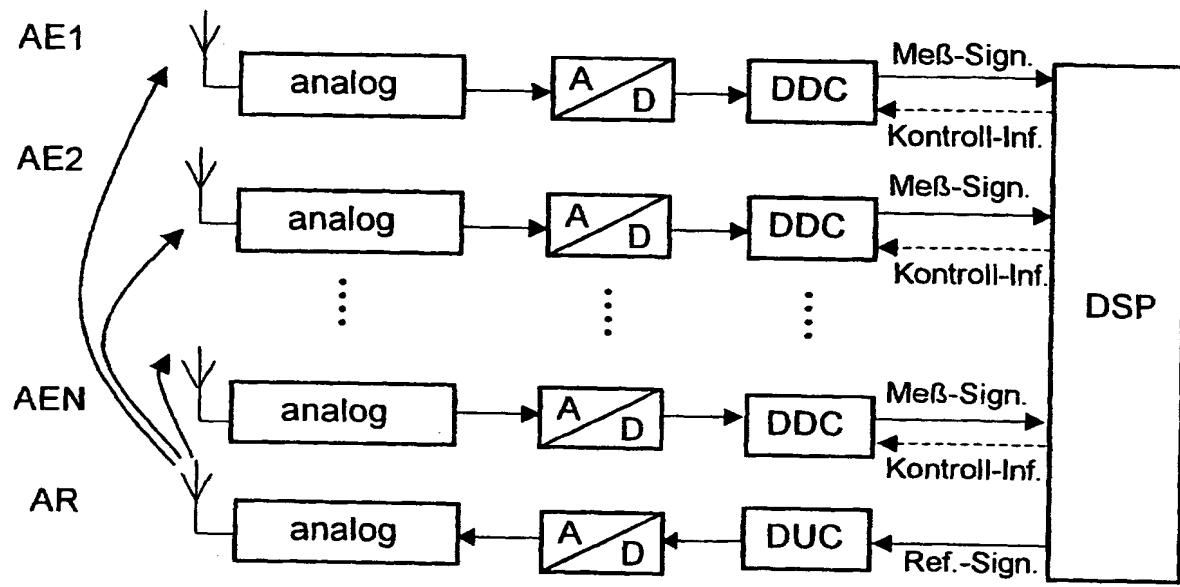


Fig. 2

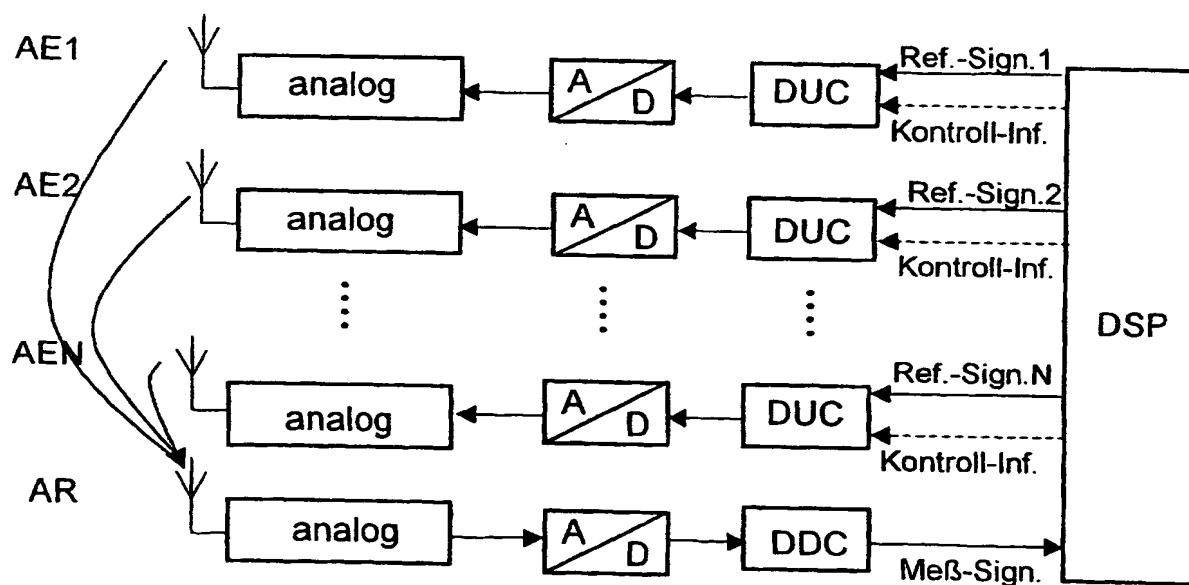


Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY